

AVIATION

La portance

Phénomène très discuté.

Plusieurs théories différentes, mais peu d'explication claire, logique et complète.

Sujet très complexe



Chapitre 1

Comprendre le phénomène.

4 forces s'appliquent sur un avion.

La poussée, la traînée, le poids, la portance.

3 sont mécaniques, il faut un contact direct entre les deux objets.

Une est un champ, donc pas de contact, soit le poids de l'avion qui baigne dans la gravité.

Archimède. Tout corps plongé dans un fluide au repos, entièrement mouillé par celui-ci ou traversant sa surface libre, subit une force verticale, dirigée de bas en haut et opposée au poids du volume de fluide déplacé.

Un bateau flotte selon la poussée d'Archimède. C'est une question de masse. Sur une balance, si une masse est plus grande d'un côté, l'autre côté s'élève. Une pièce de bois déposé sur l'eau du bain flotte. Donc sa masse doit être moindre que celle de l'eau. De quelle masse d'eau s'agit-il? De la masse d'eau sous le bois. Il reste à mesurer le volume de la masse d'eau et de comparer avec le volume du bois et...EUREKA!!

La coque du navire est remplie d'air, 1000 fois moins dense que l'eau. Ainsi, la densité du navire est beaucoup moindre que la densité de l'eau et il flotte.

La densité (Kg/mètre cube) de l'air varie en fonction de l'altitude, de la température et de l'humidité.

Selon Température : variation de 1,2 à 1,3 au niveau de la mer.

Selon Altitude : variation de 1,2 au niveau de la mer à 0,3 à 11K mètres.

C'est la même idée pour un avion. C'est un corps plongé dans un fluide. L'avion est rempli d'air, mais le fluide dans lequel il est plongé est aussi de l'air. Les deux densités sont égales. Une masse d'air du même volume que l'avion ne peut donc pas exercer une poussée suffisante et générer de la portance.

Comment faire?

Il faut ajouter de la masse à l'air. Impossible. Il faut ajouter de la masse apparente. Pour ce faire il faut faire intervenir l'énergie cinétique. Une masse d'air propulsée à une vitesse suffisante aura une masse apparente suffisante et exercera la poussée requise afin de faire porter l'avion.

L'ACTION , le flux d'air, doit être dirigée vers le bas. La RÉACTION, semblable à la poussée d'Archimède, créera la portance, selon la 3ième loi de Newton.

Le bateau, au moyen du gouvernail, courbe le flux d'eau afin de créer une action et une réaction qui le fait tourner. L'hélice pousse une masse d'eau et le bateau mouve dans la direction opposé. L'avion, au moyen de l'aile, fait de même avec le flux d'air. La gouverne de profondeur dévie l'air, provoque une action-réaction et fait monter ou descendre l'avion. Un cerf-volant dévie l'air et se maintient en l'air. Des avions RC à aile plate volent.

L'aile de l'avion est la principale structure chargée de diriger la masse d'air vers le bas.

La portance est générée par un fluide en mouvement qui change de direction.

Pas de mouvement, pas de portance. Pas de courbe, pas de portance.

La portance, c'est le changement de momentum.

CHAPITRE 2

Mais l'ACTION, c'est quoi?

Il faut débiter avec l'énergie cinétique.

$E_c = 0,5 \times \text{Masse} \times \text{Vitesse au carré.}$

La suite avec Bernoulli. Il a démontré qu'un fluide en mouvement dans un tube diminue la pression sur les parois du tube, c'est la pression statique. Les molécules du fluide, occupées à se déplacer, font pression dans le sens du mouvement. C'est la pression dynamique ou totale selon la mesure faite.

Pression Totale = Pression statique + Pression dynamique.

Exemple avec 1 litre d'air. Exemple avec barrage et rivière.

Une masse d'un litre d'eau dans le courant contient encore toute son énergie, mais une partie de l'énergie, ou pression, est dirigée dans le sens du courant : c'est la pression dynamique. La pression statique, exercée perpendiculairement au courant, diminue. La force qui combat l'inertie et transmet son énergie à la masse d'eau est la gravité.

Pression dynamique = $0,5 \times \text{Densité du fluide} \times \text{Vitesse au carré.}$

Soit, la même équation que l'énergie cinétique.

La pression statique est perpendiculaire au flux.

La suite avec Venturi. Il a utilisé le principe de B et construit un tube avec un rétrécissement afin d'augmenter la vitesse du fluide et modifié la pression statique et la pression dynamique. Un venturi a beaucoup d'applications, un barrage par exemple.

Pas utile en fonction de la portance.

Un venturi est presque toujours utilisé afin d'expliquer Bernoulli. Un venturi n'est pas Bernoulli.

La suite avec Euler. Il a perfectionné l'équation de base en ajoutant des variables. C'est l'équation la plus utilisée.

La suite avec Navier-Stokes. Encore plus de variables incluses dans l'équation. Presque impossible à résoudre en fonction de la portance.

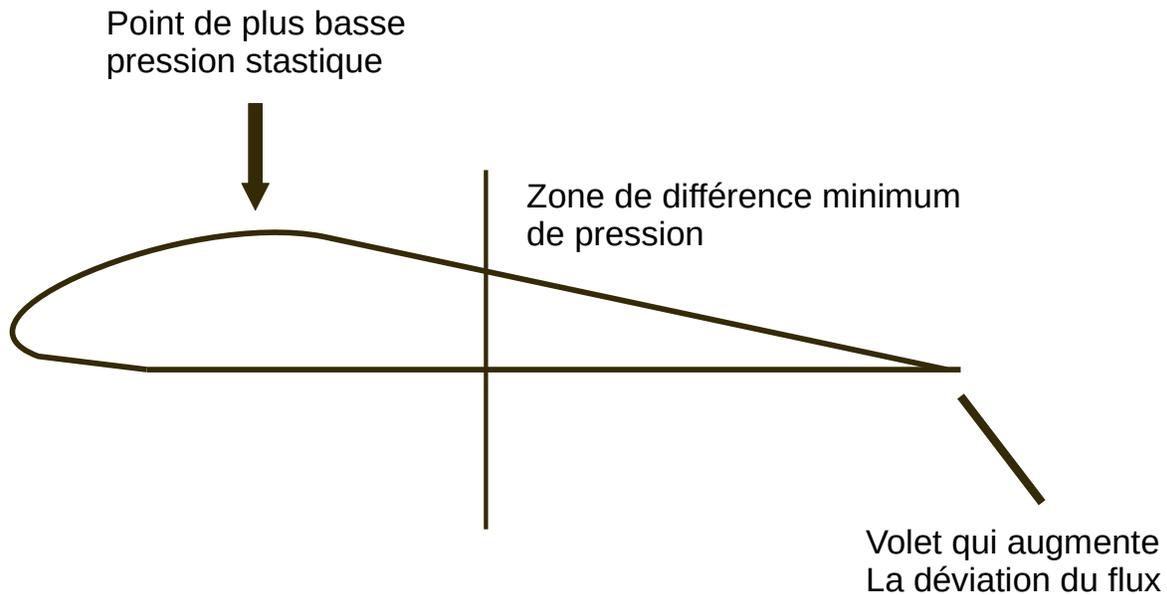
Plusieurs phénomènes sont impliqués dans la portance.

Le principal est l'angle d'attaque. C'est l'angle formé par la corde de l'aile et le flux d'air. Lorsque la molécule d'air se fait heurter par la surface solide de l'aile, elle doit suivre le mouvement. L'aile, ou l'hélice, remplace la gravité.

LE PROFIL DE L'AILE.

Nous allons regarder le profil classique, soit un fond plat à l'intrados et une courbe à l'extrados.

Profil d'aile 2D



A l'intrados, le flux d'air est parallèle, pas de courbure. Donc pas de portance. L'équation de Bernoulli nous indique que la pression statique diminue sur l'intrados. A l'extrados, le flux est courbe. Le flux est dirigé vers le haut, puis vers le bas et une force aérodynamique est créée.

Le flux est plus rapide à l'extrados qu'à l'intrados. La pression statique est donc moindre qu'à l'intrados. La pression statique plus faible de l'extrados facilitent la portance (réaction) ou poussée vers le haut.

La forme courbe de l'extrados est très utile à la portance. On peut avoir une simple toile et cela fonctionne. Comme une voile ou l'aile des frères Wright ou un air foil. Sur un voilier par vent arrière, seul l'intrados est utilisé. Au grand largue, l'intrados et l'extrados travaillent ensemble, courbent le flux du vent et augmente considérablement la poussée.

Angle d'incidence augmenté.

L'angle d'incidence a un effet indispensable dans la portance. A mesure que l'incidence augmente, le flux (l'action) est de plus en plus dirigé vers le bas par l'intrados tandis que l'extrados fait de même. L'extrados propulse une grande quantité d'air vers le bas. Lorsqu'il y a décrochage, l'avion perd une grande proportion de la masse d'air générée par l'extrados et dévié vers le bas.

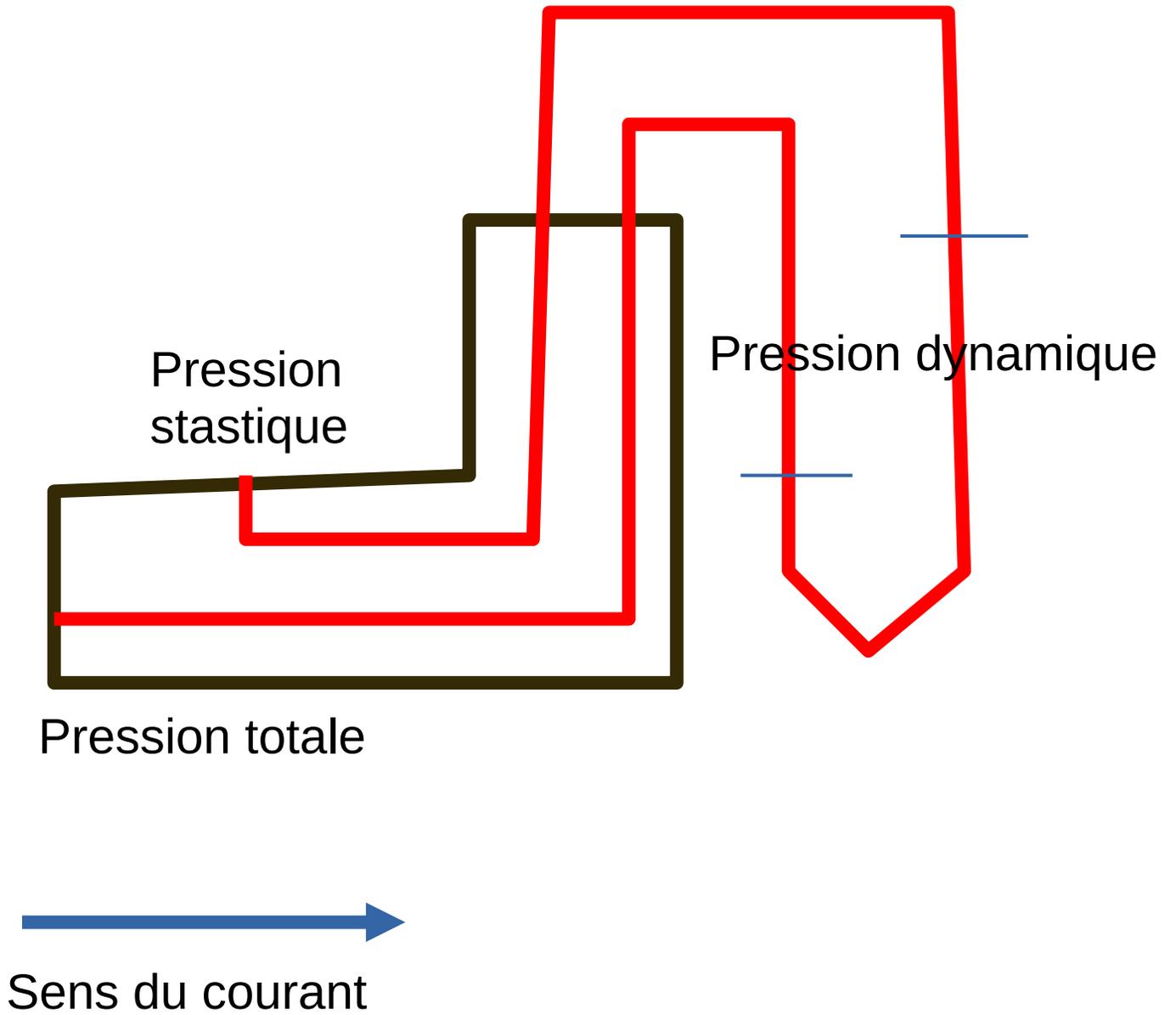
Je ne sais pas lequel propulse le plus de masse d'air.

Tube de Pitot

Avec un tube de Pitot, on mesure la pression totale et la pression statique. Par simple soustraction, on obtient la pression dynamique dont on extrait la vitesse de l'avion par rapport à l'air.

Les tubes Pitot sont utilisés partout où on veut mesurer le débit d'un flux. En ventilation domestique, en barrage, en avionique, etc..

TUBE PITOT





Pourquoi l'air va plus vite à l'extrados.

C'est parce que le flux tombe...

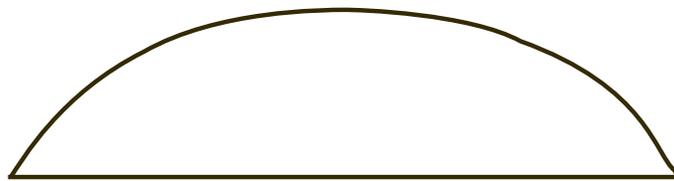
La rivière Montmorency coule droit. Lorsque le flux arrive à la chute, il tombe, attiré par la gravité et la vitesse de l'eau augmente.

Pour l'aile de l'avion, c'est de la brachitochrone causé par la forme cycloïde.



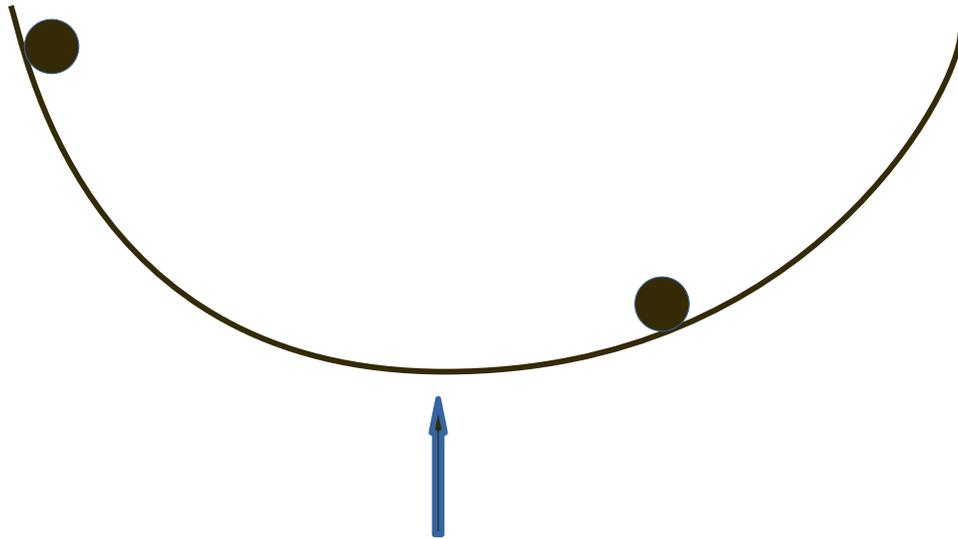
Cycloïde

Tracé par un point sur un cercle en mouvement



Une cycloïde mesure $8R$ de longueur et $2R$ de hauteur

Cela ressemble à une aile



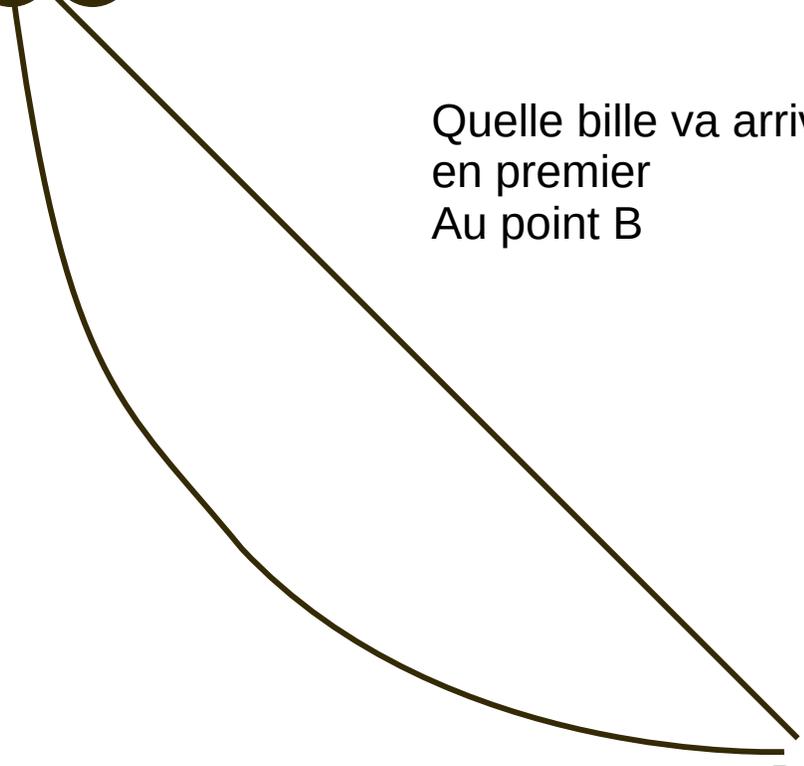
Sur une cycloïde, les deux billes vont arriver en même temps au point le plus bas, quelque soit le point de départ.

Bille 1
Point A

Bille 2



Quelle bille va arriver
en premier
Au point B



Point B

La gravité est remplacée par le mouvement de l'aile.

Lorsque le bord d'attaque frappe l'air, il le dévie sur la cycloïde, comme la gravité dévie l'eau, et le flux augmente sa vitesse. La pression statique est au plus bas au sommet de la courbure pcq c'est l'endroit où l'air va le plus vite. Puis, sur la deuxième moitié de l'aile, les pressions statiques de l'intrados et de l'extrados sont presque identiques. Au début, le flux se dirige vers le haut, mais il S'ACCROCHE à l'aile et suit la courbure. C'est l'effet Coanda.

Couche limite

C'est la mince couche de fluide qui reste accrochée à l'aile. C'est la couche de limon déposée sur la surface de la conduite d'eau du barrage. Cette couche se mesure en millimètre, voire en nanomètre. Son effet est très important, mais pas nécessaire pour comprendre la portance.

Vitesse de décrochage = imprécis. Un avion ne décroche pas par la vitesse mais par un angle d'attaque trop élevé. Le flux d'air ne peut plus demeurer accrocher à la courbure de l'aile. La traînée augmente. La portance tombe.

Une vitesse trop lente ne cause pas de décrochage, mais un manque de portance.

Calcul de portance.

Un avion est une structure très complexe. Il est impossible de tout calculer. On calcule ce qu'on peut et le reste est mesuré en soufflerie.

Les différents profils d'aile porte un nom NACA. Exemple : NACA 0012
Il y a d'autres classes.

La formule de portance est :

Portance = $C_p \times 0,5 \times \text{Densité de l'air} \times \text{vitesse au carré} \times \text{surface alaire}$.

Le Coefficient de portance est déterminé en soufflerie et contient tous les paramètres qu'on ne peut calculer.

Il faut beaucoup de minutie afin d'obtenir des résultats fiables.

Rien n'est construit sans avoir été vérifié en soufflerie, modèle grandeur réelle.

Puis il y a les vols d'essai afin de vérifier en conditions réelles.

Bernoulli ou Newton?

Newton. Newton explique que si le flux est dirigé vers le bas, la réaction sera une portance.

La différence de pression extra et intrados n'est pas LA portance.

Dans l'exemple du barrage, Bernoulli permet de calculer le débit d'eau, mesuré avec un Pitot, mais ne fabrique pas d'électricité. Pour l'aile, Bernoulli permet de calculer le débit d'air, mais ce n'est pas le phénomène de la portance.

Hélicoptère

Plus facile à visualiser.

Si c'était la différence de pression statique entre l'extrados et l'intrados qui générerait la portance, il ne serait pas nécessaire de propulser autant d'air sous l'hélico. Il suffirait de faire tourner le rotor. Il faut un angle d'incidence afin de diriger le flux vers le bas et générer une réaction de portance.

Pression atmosphérique varie de 108 à 87 kPa. Lorsque en présence d'une zone de haute pression, il n'y a pas de vent et pas de sensation de pression. Mais en présence d'une zone de basse pression, il n'y a pas de sensation de pression, mais le vent? Si un vent de 100Kmh, on a une sensation de poussée ou pression. De quelle pression? Nous ne ressentons pas la pression statique, mais la pression Bernoulli. Dans l'ouragan, divers objets volent, sans aucune forme d'aile. La pression dynamique fait voler les dommages.

L'avion crée et contrôle son propre vent. L'avion se stabilise dans son vent par sa conception. Au sol et en vol, on mesure la pression statique, soit la pression atmosphérique. Il est facile de mesurer la pression statique de l'extrados et de l'intrados. Il serait donc facile de calculer la portance et afficher dans le cockpit.

Bernoulli ou Newton? Chacun explique une partie du phénomène. Dans les deux cas, la même formule, plus le coefficient de portance, est utilisée.

C'est la soufflerie qui a le dernier mot.

Exemple d'avion

Les avions hypersoniques sont différents, pcq onde sonore compresse air.

Les avions civiles modernes peuvent voler à une vitesse de 0,85Mach grâce à un profil d'aile modifié appelé supercritique conçu par la NASA. En effet le vol transsonique, c'est à dire près de la vitesse du son, cause problème. L'onde sonore influence le flux d'air et interfère avec la portance. DANGER

Les avions militaires sont aussi différents.

Les avions utilitaires STOL sont amusants, voir sur le net.

Boeing 747

longueur : 70m

envergure : +- 60m selon modèle

surface alaire : 560m² ou 6000 pi²

coefficient de portance : 0,3 à 1,5

masse au décollage : +- 800 000 livres

masse à l'atterrissage : +- 650 000 livres

vitesse décollage : +- 300 Kmh selon conditions

vitesse atterrissage : +- 280 Kmh selon conditions (1,3 fois décrochage)

vitesse décrochage : +- 220 Kmh selon conditions

vitesse croisière : Mach 0,85

4 moteurs PW de 63 300 livres de poussée.

Références.

Gros site en français, le plus complet et bien expliqué

<https://www.lavionnaire.fr/TheorieAndEber.php>

Avion de papier

https://www.youtube.com/watch?v=3KqjRPV9_PY

Cours de pilotage du M. I. T.

C'est un youtube en anglais.

<https://www.youtube.com/watch?v=edLnZgF9mUg>

Cours de la NASA

C'est du texte.

<https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/>

<https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/conmo.html>

Cycloïde

<https://www.roue-thermo-gravitationnelle.fr/pages/theorie-et-dimensionnement/rtg-et-cycloide.html>

Soufflerie de Toulouse

Pression Statique

<https://www.youtube.com/watch?v=lQFVt1US2DE>

Explication de la pression et de Bernoulli

Université Yale

<https://www.youtube.com/watch?v=lfXDJKKPGfY>

Avion RC à aile plate

<https://www.youtube.com/watch?v=UQtJzhBJyIY>

Michigan Engeneering

<https://www.youtube.com/watch?v=QKCK4IJLQHU>

Michigan Engeneering, 30 minutes

<https://www.youtube.com/watch?v=aa2kBZAoXg0>